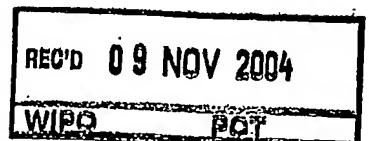


MOD. C.E. - 1 - 4 /

PCT/EP2004/052127



Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

Ufficio G2

EPO - DG 1

29.10.2004

96

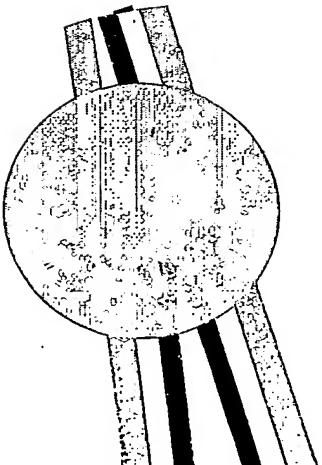
Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:
INVENZIONE INDUSTRIALE N. MI 2003 A 0001742 depositata il 11.09.2003.

Si dichiara che l'unità copia è conforme ai documenti originali depositati con la domanda di brevetto sopra specificata, i cui dati risultano dall'accluso processo verbale di deposito.

ROMA li..... 27 SET 2004

IL FUNZIONARIO

Giampietro Carlotta
Giampietro Carlotta



**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Best Available Copy

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE, DESCRIZIONE E RIVENDICAZIONE

NUMERO DOMANDA 11120031001722 REG. A

DATA DI DEPOSITO 11.09.2003

NUMERO BREVETTO

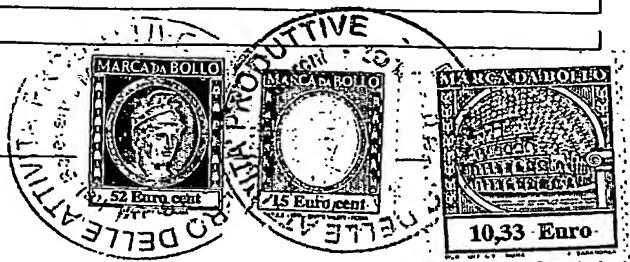
DATA DI RILASIO

11.11.11

D. TITOLO.

"RETE OTTICA AD ANELLO CON RICIRCOLAZIONE DI LUCE ASE E CON SISTEMA PER
IL CONTROLLO DEL COLLEGAMENTO E DELLE CAPACITA' DI SOPRAVVIVENZA DELLA
RETE"

L. RIASSUNTO



Una rete ottica WDM ad anello comprende un anello ottico con amplificatori ottici (12,16) fra tratte dell'anello (11) e con ricircolazione ASE nell'anello. In un punto dell'anello un raggio laser è iniettato e lasciato circolare nell'anello, il raggio laser essendo centrato attorno ad una lunghezza d'onda λ_{LINK} dove è desiderato venga generato un picco "lasing". Ciò fornisce una elevata robustezza della rete in termini di variazioni di perdite di tratta, e migliora grandemente l'OSNR del segnale WDM. E' ottenibile anche una elevata sopravvivenza della rete è ottenibile.

M. DISEGNO

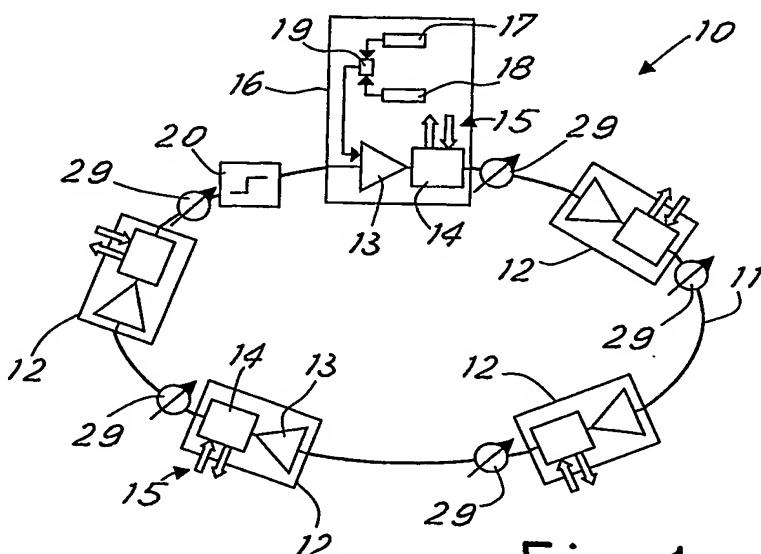
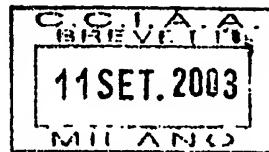


Fig. 1

“Rete ottica ad anello con ricircolazione di luce ASE e con sistema per il controllo del collegamento e delle capacità di sopravvivenza della rete.” **MI 2003 A 001742**

titolare: MARCONI COMMUNICATIONS S.p.A.

con sede in: GENOVA



La presente invenzione si riferisce ad un rete ottica di trasmissione ad anello, dove almeno un amplificatore ottico è necessario per compensare perdite nelle fibre e nei componenti passivi, in particolare in un sistema di trasmissione operante con tecnica WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Più in particolare, sono considerate reti ad anello WDM basate su EDFA (“Erbium-Doped Fiber Amplifier”) con ricircolazione delle emissioni spontanee amplificate (ASE=Amplified Spontaneous Emission), in cui ciascun EDFA non include qualsiasi meccanismo per il controllo del guadagno e il controllo del guadagno è ottenuto automaticamente per mezzo della ricircolazione della luce ASE nell’anello.

In tali reti, la luce prodotta dall’effetto “lasing” è generata a lunghezze d’onda che dipendono dal bilancio delle tratte della rete e dalla struttura degli EDFA.

In generale, con una data struttura dell’EDFA, la lunghezza d’onda che dà il picco di guadagno nella cascata di EDFA nella configurazione ad anello dipende dalle perdite nelle tratte. In particolare, riducendo questa perdita la lunghezza d’onda che dà il picco di guadagno si muoverà da circa 1532 nm verso lunghezze d’onda più alte (ad esempio, attorno a 1560nm).

La perdita della tratta e la struttura dell’EDFA devono essere finemente controllate in modo tale che il picco di guadagno appaia ad una lunghezza d’onda λ_{ASE} che sia ben separata dalla banda $\lambda_1-\lambda_N$ del segnale WDM. Ad esempio, una adatta configurazione di rete ad anello WDM basata su una ricircolazione di luce ASE può

essere implementata con $\lambda_{ASE}=1532$ nm e 16 canali WDM spaziati di 100GHz e allocati fra 1544nm e 1558nm.

La configurazione di rete ad anello WDM basata su ricircolazione di luce ASE può fornire prestazioni accettabili ad un costo molto basso; infatti, la ricircolazione di luce ASE fornisce un meccanismo di controllo automatico del guadagno che evita complessi e costosi dispositivi e algoritmi usualmente richiesti per altre reti ad anello WDM standard basate su EDFA. Nelle configurazioni standard la luce ASE può però crescere nell'anello in modo incontrollato, portando al sorgere di una seria degradazione delle prestazioni che è fortemente dipendente dalle condizioni di funzionamento della rete.

Fondamentalmente due soluzioni sono state proposte in tecnica nota allo scopo di mantenere sotto controllo un indesiderato aumento dell'ASE. La prima soluzione è basata sulla interruzione della circolazione dell'ASE ad uno specifico nodo nell'anello. In questo modo il problema è risolto con lo svantaggio di dovere introdurre componenti passivi addizionali e/o con la perdita di flessibilità nel sistema (è necessario un traffico centralizzato o qualsiasi riconfigurazione del traffico richiede la visita del nodo che realizza l'interruzione ASE). La seconda soluzione prova invece a mantenere sempre il guadagno sotto la soglia dell'effetto "lasing", così che la ricircolazione dell'ASE non può crescere in potenza propagandosi lungo l'anello. Entrambe le soluzioni non sono però sufficientemente efficaci e richiedono complessi e costosi dispositivi e algoritmi. Un problema di tale approccio è che gli amplificatori EDFA o similari hanno guadagno che è dipendente dalla potenza applicata in ingresso e nella rete la potenza in ingresso agli amplificatori dipende a sua volta dal numero di canali in quel momento attivi. Per tale motivo, allo scopo di mantenere il guadagno complessivo sotto la soglia di "lasing" in tutte le possibili

condizioni (compresa l'aggiunta o la rimozione di canali e nodi), è necessario un complesso algoritmo di controllo globale dell'anello con molti punti di monitoraggio oppure è necessario mantenere il guadagno dei singoli amplificatori abbastanza basso da assicurarsi che anche nelle condizioni che portano al guadagno massimo degli amplificatori, il guadagno totale nella rete sia inferiore ad 1. Tale soluzione comporta però una sensibile riduzione delle prestazioni complessive ottenibili, poiché quando si è lontani dalle condizioni di massimo guadagno l'amplificazione dei singoli amplificatori è molto più bassa di quella che si potrebbe realizzare.

Nelle reti ad anello WDM basate sulla ricircolazione ASE la potenza del segnale per canale all'ingresso dell'EDFA deve essere sufficientemente bassa (ad esempio, -20dBm/ch) allo scopo di mantenere predominante la luce di effetto lasing a λ_{ASE} su ciascun uscita degli EDFA. Questa caratteristica assicura che gli effetti di transiente dovuti alle operazioni di aggiunta e sottrazione di canali WDM siano limitati.

Due principali fattori limitanti sono stati identificati nelle reti ad anello WDM basate su EDFA con ricircolazione ASE: il primo è che la lunghezza d'onda di picco del guadagno e l'OSNR (Optical Signal To Noise Ratio) del segnale dipendono fortemente dal bilancio della tratta della rete e dalla struttura dell'EDFA (lunghezza della fibra attiva e potenza di pompa). Ciò richiede l'uso di attenuatori ottici in ciascuna tratta e di procedure di installazione complesse. In più, allo scopo di rendere la rete operante in condizioni stabili devono essere introdotte alte perdite di tratta con una conseguente riduzione delle prestazioni nei confronti del rapporto segnale/rumore (OSNR). Si può anche notare che mentre il guadagno EDFA compensa esattamente le perdite delle tratte e dei componenti alla lunghezza d'onda λ_{ASE} del picco di guadagno, il guadagno alle lunghezze d'onda dei segnali sarà più basso che a λ_{ASE} . La massima differenza di guadagno ΔG_{max} alla lunghezza d'onda

delle luce lasing e alla lunghezza d'onda del segnale deve essere controllata. ΔG_{max} dovrebbe essere alta a sufficienza da evitare instabilità della rete a causa delle variazioni della lunghezza d'onda del picco di guadagno indotte dalle operazioni di aggiunta e sottrazione di canali WDM e/o di variazione di perdite nelle tratte a causa di invecchiamento di componenti e connettori. Allo stesso tempo, ΔG_{max} dovrebbe essere abbastanza basso da assicurare accettabili prestazioni del rapporto segnale rumore per i segnali WDM propagati lungo la rete ad anello. È difficile trovare un valore ottimo di ΔG_{max} senza degradare le prestazioni OSNR della rete e, allo stesso tempo, assicurando buona stabilità della rete stessa.

Il secondo importante fattore limitante è che in presenza di guasti della fibra e/o di un EDFA sono prevedibili forti escursioni nella potenza di segnale, a causa della perdita del meccanismo di blocco del guadagno fornito dalla ricircolazione. Questo effetto deve essere mantenuto sotto controllo, poiché questi transienti di potenza possono sia danneggiare i componenti nel lato ricevente degli EDFA sia generare altri problemi a causa di effetti non lineari di propagazione. È da notare inoltre che in presenza di rotture di fibre e/o di EDFA le forti escursioni nella potenza del segnale diventano sempre più grandi e più veloci lungo la cascata di EDFA.

Allo scopo di ottenere i massimi vantaggi dall'uso di reti ad anello WDM basate sulla ricircolazione ASE, in termini di semplicità e riduzione di costi, è veramente importante trovare adatte soluzioni in grado di migliorare le prestazioni OSNR, assicurare robustezza della rete in termini di variazioni delle perdite di tratta e la sopravvivenza della rete nel caso di rotture di fibre o EDFA.

Per fornire un controllo del guadagno di un singolo amplificatore ottico EDFA è stato proposto nella tecnica nota di impiegare un oscillatore locale all'amplificatore per produrre un'onda ausiliaria di compensazione che viene sommata al segnale

utile. Un simile sistema è descritto, ad esempio, in US 6.043.931. Ciò permette di stabilizzare il guadagno di un singolo amplificatore, ma ciò non è di alcuna utilità per risolvere i sopra menzionati problemi di una rete ad anello. Il sistema proposto in US 6.043.931 realizza una stabilizzazione del guadagno che rimane locale al singolo amplificatore, poiché è realizzata mediante un aggancio di guadagno dell'amplificatore tutto ottico. Ogni amplificatore della rete dovrebbe perciò essere realizzato secondo tale brevetto. Ciò è eccessivamente dispendioso e, comunque, un amplificatore così stabilizzato non soddisfa le sopra menzionate necessità complessive di una rete ad anello, specialmente nel caso di ricircolazione ASE.

Scopo generale della presente invenzione è ovviare agli inconvenienti sopra menzionati fornendo un metodo e una rete con un sistema efficace, economico e robusto per il controllo del collegamento e delle capacità di sopravvivenza della rete. In vista di tale scopo si è pensato di realizzare, secondo l'invenzione, una rete ottica WDM ad anello comprendente un anello ottico con amplificatori ottici fra tratte dell'anello e con ricircolazione ASE nell'anello, caratterizzata dal fatto che in un punto dell'anello un raggio laser è iniettato e lasciato circolare nell'anello, il raggio laser essendo centrato attorno ad una lunghezza d'onda λ_{LINK} dove è desiderato venga generato un picco "lasing".

Sempre secondo l'invenzione, si è anche pensato ad un metodo per il controllo del collegamento in una rete ottica WDM ad anello comprendente un anello ottico con amplificatori ottici fra tratte dell'anello e con ricircolazione ASE nell'anello, secondo il quale un raggio laser centrato attorno ad una lunghezza d'onda λ_{LINK} dove è desiderato venga generato un picco "lasing" è iniettato in un punto dell'anello e fatto circolare nella rete.

Per rendere più chiara la spiegazione dei principi innovativi della presente

invenzione ed i suoi vantaggi rispetto alla tecnica nota si descriverà di seguito, con l'aiuto dei disegni allegati, una possibile realizzazione esemplificativa applicante tali principi. Nei disegni:

- figura 1 rappresenta schematicamente una rete ad anello realizzata secondo i principi dell'invenzione;
- figure 2 e 3 rappresentano grafici mostranti lo spettro di uscita da un amplificatore di una rete di tecnica nota, in due differenti condizioni di carico;
- figura 4 rappresenta un grafico mostrante il comportamento al transitorio di una generica rete di tecnica nota;
- figure 5 e 6 rappresentano grafici simili a quelli delle figure 2 e 3, ma applicando i principi dell'invenzione;
- figura 7 rappresenta un grafico simile a quello della figura 4, ma applicando i principi dell'invenzione;
- figure 8-11 rappresentano grafici mostranti lo spettro di uscita da un amplificatore di una rete secondo l'invenzione e con possibili varianti realizzative della rete;
- figura 12 rappresenta un grafico simile a quelli delle figure 8-11, ma senza applicare i principi dell'invenzione;
- figura 13 rappresenta uno schema a blocchi di un nodo della rete realizzato secondo una possibile variante applicante i principi dell'invenzione;
- figure 14, 15 e 16 rappresentano grafici di effetti di transiente in una rete secondo l'invenzione in differenti casi di guasto.

Con riferimento alle figure, in figura 1 è mostrata schematicamente un rete ottica di trasmissione ad anello, dove almeno un amplificatore ottico è necessario per compensare perdite nelle fibre e nei componenti passivi, in particolare in un sistema di trasmissione operante con tecnica WDM (Wavelength Division Multiplexing).

La rete ad anello, indicata genericamente con 10, applicante i principi dell'invenzione, comprende un anello di fibra ottica 11, suddiviso in tratte fra le quali sono presenti nodi 12 comprendenti noti amplificatori ottici 13 (ad esempio EDFA) e noti dispositivi di aggiunta e sottrazione di canali, per lo smistamento da e per gruppi di ingressi/uscite 15, attraverso i quali i canali sono aggiunti e sottratti nella rete.

Secondo l'invenzione, uno dei nodi di amplificazione della rete ad anello, (qui chiamato "master" e indicato genericamente con 16), è equipaggiato con un laser 17 (vantaggiosamente, un laser di tipo DFB=Distributed Feed Back) centrato attorno a 1532 nm (λ_{LINK}), vale a dire nella regione spettrale dove è desiderato venga generato un picco "lasing". Vantaggiosamente, i valori di potenza del raggio laser all'ingresso dell'EDFA sono scelti fra -5 dBm e +10 dBm)

Nelle normali condizioni operative il raggio prodotto dal laser 17 è iniettato entro l'anello (vantaggiosamente a monte dell'amplificatore EDFA del nodo) e lasciato circolare in esso. Ciò realizza il controllo di collegamento. Come sarà chiaro nel seguito, si è sorprendentemente trovato che ciò fornisce una elevata robustezza della rete in termini di variazioni di perdite di tratta, e migliora grandemente l'OSNR del segnale WDM.

Poiché secondo l'invenzione il comportamento della rete è fortemente dipendente dalla presenza del raggio laser addizionale che effettua il controllo del collegamento, per rendere più affidabile la rete, può essere vantaggiosamente previsto nel nodo master 16 un sistema di generazione laser ridondante. In particolare, il sistema può prevedere anche un laser DFB addizionale 18 che viene acceso nel caso il primo DFB 17 dovesse guastarsi.

Inoltre, possono essere previsti noti attenuatori variabili (VOA) 29 all'uscita di ogni EDFA allo scopo di potere normalizzare la perdita di ogni tratta (per esempio a 4x19

dB come sarà nel seguito indicato con riferimento alle figure 2 e 3). Con tali attenuatori è infatti più facile, anche in presenza di "link control", controllare il gain peaking e forzarlo alla lunghezza d'onda desiderata per esempio 1532 nm (con perdite di tratta basse, corrispondenti per esempio a soli 25 km di fibre e add/drop fisso per pochi canali, il gain peaking si formerebbe probabilmente intorno a 1532 nm).

Per rilevare e mostrare i vantaggi di una rete con il meccanismo di controllo del collegamento secondo l'invenzione, si sono eseguite varie prove sperimentali su una rete di prova. Per semplicità, sono state impiegate solo quattro tratte (di 25Km di fibra ciascuna), ma le stesse conclusioni possono essere estese a un numero più alto di tratte.

Il comportamento dinamico di un segnale di prova è stato osservato dopo la propagazione lungo l'intera rete ad anello e sotto varie operazioni di aggiunta (ADD) e sottrazione (DROP) di canali WDM con e senza il controllo di collegamento a 1532 nm dell'invenzione.

Nelle condizioni di prova, tre canali WDM ad alta potenza sono stati attivati e disattivati attraverso un modulatore acustico-ottico (AOM) per simulare 15/16 canali WDM aggiunti-sottratti al nodo master, dove il controllo del collegamento è inserito nella rete.

La struttura dell'amplificatore EDFA è stata mantenuta semplice, allo scopo di soddisfare esigenze di basso costo: circa 10m di fibra drogata con ioni erbio con picco di assorbimento a 1532nm di circa 7dB/m, sono pompati in modo bidirezionale a 980nm (potenza totale di pompa: 100mW).

Nelle figure 2 e 3 sono mostrati gli spettri di uscita dopo l'ultimo EDFA nella rete ad anello quando non è impiegato il controllo secondo l'invenzione. Il bilancio di tratta



(4x19dB) è tale che il picco di guadagno è compreso fra 1532 nm e 1560 nm. Figura 2 mostra il caso di pieno carico (tutti i canali) e figura 3 mostra il caso di un solo canale attivo.

E' da notare che il relativo basso valore di perdita della tratta può essere vantaggioso in termini di prestazioni di OSNR (27dB su una risoluzione di ampiezza di banda di 0.1nm), ma non è per niente ottimale in termini di comportamento dinamico all'aggiunta e sottrazione di canali e come uniformità di guadagno.

A tale riguardo, figura 4 mostra, nella rete priva del controllo secondo l'invenzione, l'escursione della potenza di prova all'uscita dell'ultimo EDFA indotta dallo spegnimento dei tre canali simulanti il pieno carico di rete. Si nota l'elevato transitorio rispetto al caso di rete con controllo e la formazione di picchi di emissione spontanea amplificata nella zona spettrale dei segnali WDM. Una tale rete ad anello, basata sulla ricircolazione ASE, richiederebbe una perdita di tratta elevata (almeno 21dB) allo scopo di assicurare condizioni di stabile funzionamento evitando il rischio di picchi di guadagno a causa dei canali WDM. Soddisfare tale condizione necessariamente induce scarse prestazioni riguardo l'OSNR e non fornisce accettabili prestazioni con più di sei tratte.

Nelle figure 5 e 6 è mostrato lo spettro di uscita dopo l'ultimo EDFA nella rete ad anello con il controllo di collegamento a 1532 nm e lo stesso bilancio di tratta (4x19dB) come nelle figure 2 e 3. Si nota lo spettro molto stretto del picco a 1532nm. E' evidente che in questo caso buone prestazioni di OSNR possono essere ottenute senza il rischio di formazione di picchi di emissione spontanea amplificata nella zona spettrale dei segnali WDM a causa dell'aggiunta/sottrazione di canali WDM. Se si confrontano le figure 3 e 6 si nota anche la quasi totale mancanza di picco al limite superiore della banda di segnale. Può anche essere notato che la

presenza del controllo di collegamento a 1532 nm evita la formazione di un doppio picco ASE a 1532 nm, fornendo più alta robustezza della rete in termini di effetti dipendenti dalla polarizzazione.

In figura 7 è mostrato il comportamento al transiente provocato dall'aggiunta/sottrazione di canali WDM nella rete secondo l'invenzione. Se comparato con il risultato di figura 4, si possono notare escursioni di ben più bassa potenza, anche se indotte dalle stesse aggiunte/sottrazioni di figura 4.

Per migliorare ulteriormente le prestazioni della rete secondo l'invenzione e anche ridurre le penalizzazioni introdotte dal buco spettrale, un filtro ottico passa alto 20 può essere facilmente introdotto nell'anello. E' stato trovato che la semplice aggiunta di un tale filtro fornisce ulteriore miglioramento delle prestazioni OSNR dell'intera rete.

Filtri ottici passa alto possono essere usati per evitare l'accumulo di ASE attorno a 1532nm e per forzare l'effetto lasing ad adatte lunghezze d'onda, introducendo un controllo di collegamento posizionato vicino alla banda del segnale WDM, sopra o sotto le lunghezze d'onda del segnale.

Il filtro passa alto può anche essere progettato per realizzare una equalizzazione nel guadagno dei segnali WDM. In tale caso, ciascun nodo amplificatore della rete può essere equipaggiato con un tale filtro.

Sono state trovate vantaggiose varie combinazioni di filtro e controllo di collegamento:

-solo un filtro ottico passa-alto nella rete ad anello per eliminare l'accumulo di ASE sotto 1535nm e il controllo del collegamento posizionato ad una adatta lunghezza d'onda fra la lunghezza d'onda di taglio del filtro e la banda dei segnali WDM (cioè vantaggiosamente a 1537nm).

-solo un filtro ottico passa-alto nella rete ad anello per eliminare l'accumulo di ASE sotto 1538nm e il controllo del collegamento posizionato ad una lunghezza d'onda leggermente più alta della banda dei segnali WDM (cioè vantaggiosamente a 1564nm).

-solo un filtro ottico passa-alto/equalizzatore di guadagno in ciascun nodo amplificatore della rete con una lunghezza d'onda di taglio attorno a 1535 nm e il controllo del collegamento posizionato ad una adatta lunghezza d'onda fra la lunghezza d'onda di taglio del filtro e le lunghezze d'onda dei segnali WDM (cioè vantaggiosamente a 1537nm).

-solo un filtro ottico passa-alto/equalizzatore di guadagno in ciascun nodo amplificatore della rete con una lunghezza d'onda di taglio attorno a 1538 nm e il controllo del collegamento posizionato ad una adatta lunghezza d'onda sopra le lunghezze d'onda dei segnali WDM (cioè vantaggiosamente a 1564nm).

Come esempio, nelle figure 8, 9 e 10 sono mostrate le prestazioni OSNR per una rete secondo l'invenzione caratterizzata da bilancio di tratta 8x20dB e 24 canali WDM spaziati di 100GHz e allocati fra 1542 nm e 1561 nm con e senza filtri ottici.

In particolare, figura 8 mostra lo spettro di uscita nel caso di rete ad anello WDM basata sulla ricircolazione ASE con un controllo di collegamento a 1532 nm e senza filtro passa alto. Figura 9 è ottenuta introducendo un singolo filtro ottico passa alto con una lunghezza d'onda di taglio a 1537 nm e un controllo di collegamento a 1538 nm. Infine, figura 10 è riferita alla rete con un singolo filtro ottico passa alto con lunghezza d'onda di taglio a 1539 nm e controllo di collegamento a 1565 nm.

Dalle figure 9 e 10 è evidente un miglioramento di OSNR più alto di 8dB per i canali di lunghezza d'onda inferiore, provando l'efficacia di usare filtri ottici passa alto in combinazione con tecniche di controllo del collegamento secondo l'invenzione per



migliorare le prestazioni di reti ad anello WDM.

Allo scopo di mostrare ulteriormente l'efficacia del meccanismo di controllo del collegamento combinato con un filtro ottico passa alto per ottenere elevata robustezza alle variazioni di perdita nelle tratte, si possono considerare i risultati conseguiti in una rete avente perdite di tratta $8 \times 17\text{dB}$.

In figura 11 è mostrato lo spettro di uscita ottenuto in una tale rete con un controllo di collegamento a 1565nm e un singolo filtro ottico passa alto con lunghezza d'onda di taglio a 1539nm. Comparando questo spettro con quello mostrato in figura 12 e ottenuto in una rete priva di controllo di collegamento secondo l'invenzione, si può chiaramente vedere che il controllo di collegamento a 1565nm evita la formazione di picchi di guadagno sotto la banda dei canali WDM.

E' da notare che il controllo di collegamento a lunghezza d'onda più alta della banda dei segnali è più efficace nel fornire robustezza alle variazioni di perdita nelle tratte in confronto ad un controllo di collegamento a lunghezze d'onda più basse.

Un altro vantaggioso effetto dei principi dell'invenzione è riguardo la capacità di sopravvivenza della rete nel caso di interruzioni e roture di amplificatori EDFA o di fibre della rete.

Infatti, le forti escursioni della potenza rilevate nelle reti prive di controllo secondo l'invenzione, possono seriamente degradare le prestazioni della rete e anche danneggiare i componenti dei ricevitori, specialmente nel caso di una interruzione di un EDFA entro la rete ad anello.

Questo può essere facilmente osservato nelle figure 14 e 15, dove sono mostrati i transienti provocati sulle uscite degli EDFA a causa, rispettivamente, di una interruzione di fibra e di una interruzione di un EDFA. Si nota il propagarsi e l'incrementarsi dell'effetto lungo gli amplificatori in cascata nell'anello.

E' evidente che tali escursioni di potenza, che diventano più grandi e più veloci lungo la cascata di EDFA, non sono accettabili, perché possono danneggiare i componenti ottici e anche indurre degradazioni di prestazione a causa di effetti di propagazione non lineare. Questo effetto è particolarmente dannoso nel caso di rotture di EDFA poiché nessuna luce ASE è presente all'ingresso del successivo EDFA lungo l'anello.

Allo scopo di prendere pieno vantaggio dalla rete ad anello WDM basata sulla ricircolazione ASE in termini di semplicità e riduzione di costi, è veramente importante trovare adatte soluzioni in grado di migliorare le prestazioni OSNR e nel contempo assicurare capacità di sopravvivenza della rete nel caso di rotture di fibre o EDFA.

Grazie ai principi innovativi di una rete secondo la presente invenzione, è possibile realizzare una struttura di amplificatore di nodo che assicura la sopravvivenza della rete con limitati costi aggiuntivi.

A tale scopo, i nodi della rete che non sono "nodo master" sono realizzati secondo lo schema di figura 13. In sostanza, ciascun nodo amplificatore (indicato con 112 in figura 13) nella rete ad anello (eventualmente, eccetto il nodo "master") è equipaggiato con un laser DFB 24 (vantaggiosamente, con una potenza di uscita massima richiesta di 10dBm e lunghezza d'onda di emissione attorno a λ_{LINK}) che può essere attivato in caso di caduta della rete a causa di rotture di fibra o di EDFA.

Il dispositivo 112 è dotato di un rilevatore di una eventuale rottura a monte di esso. Per realizzare tale rilevatore è stato trovato vantaggioso l'uso di un semplice circuito ottico, comprendente uno splitter 99/1 21 all'ingresso dell'EDFA che preleva una frazione della potenza ottica circolante nell'anello e la invia ad un filtro passa banda 22 centrato sull'intorno di λ_{LINK} e con una banda a -3dB di alcuni nm. Il segnale

filtrato è inviato ad un noto rivelatore di soglia 23 (ad esempio, con fotodiodo di ingresso 25 e adatta elettronica di comparazione 26 del segnale ottenuto), per rilevare la presenza di luce lasing entro l'anello alla lunghezza d'onda del filtro. Il rivelatore 23 attiva il laser 24 in caso la potenza della luce lasing rilevata cada sotto il valore di soglia (stabilito essere sintomo di rottura lungo l'anello a monte). Uno splitter 90/10 27 convoglierà il raggio laser assieme ai segnali in ingresso all'amplificatore 28.

E' da notare che solo il primo nodo amplificatore 112 che segue l'interruzione della fibra o di un EDFA attiverà il corrispondente laser DFB 24 mentre tutti gli altri nodi rimarranno invariati.

Dopo la restaurazione delle condizioni di normale funzionamento della rete il laser DFB 24 si spegnerà automaticamente sotto comando del rivelatore 26.

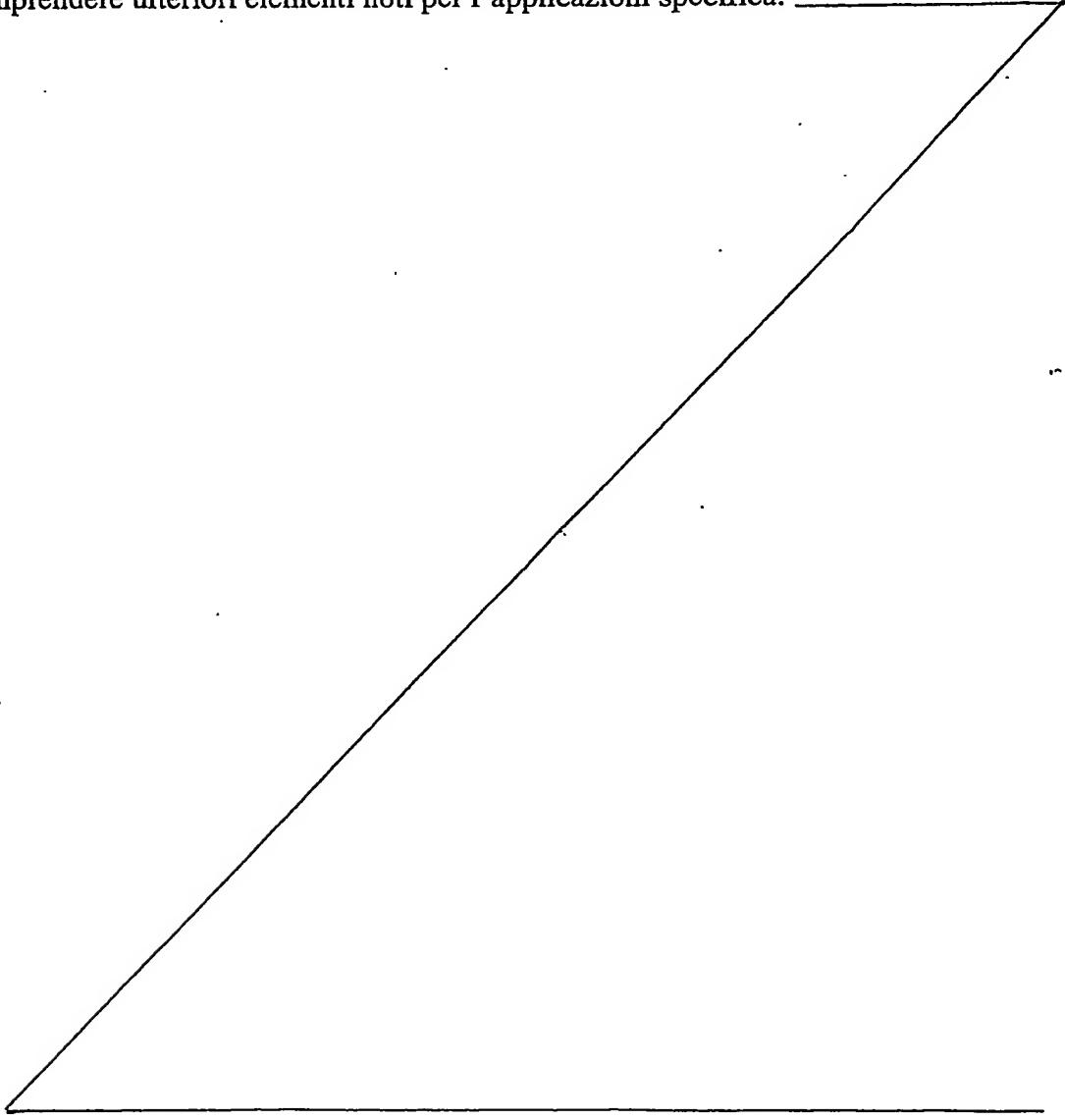
Naturalmente, il nodo 112 può anche comprendere un noto gruppo di aggiunta/sottrazione di canali (non mostrato) analogamente ai nodi 12 di figura 1.

Figura 16 mostra il comportamento del transiente del canale di prova indotto da una interruzione di un EDFA in una rete realizzata secondo l'invenzione con i nodi di amplificazione 112. E' da notare che il laser DFB 24 a 1532 nm per la sopravvivenza della rete è attivato a -10dBm sull'ingresso dell'EDFA successivo all'interruzione con un ritardo di 5 microsecondi, a causa del tempo di risposta del circuito elettronico che realizza il rivelatore a soglia 23. Dalla figura 16 risulta evidente come l'attivazione del laser DFB 24 al primo nodo che segue l'interruzione dell'EDFA impedisca efficacemente le ampie escursioni di potenza del segnale osservate senza un meccanismo di controllo secondo l'invenzione.

A questo punto è chiaro come si siano raggiunti gli scopi prefissati, fornendo un meccanismo di controllo della connessione che fornisce robustezza della rete in termini di variazioni delle perdite di tratta e che migliora l'OSNR del segnale WDM

nelle normali condizioni operative. Inoltre, il meccanismo di controllo della connessione può anche essere combinato con l'uso di filtri ottici passa alto per migliorare ulteriormente le prestazioni OSNR della rete e può anche essere sfruttato per assicurare la sopravvivenza della rete in caso di rotture di fibre o EDFA.

Naturalmente, la descrizione sopra fatta di una realizzazione applicante i principi innovativi della presente invenzione è riportata a titolo esemplificativo di tali principi innovativi e non deve perciò essere presa a limitazione dell'ambito di privativa qui rivendicato. Ad esempio, la rete può avere una qualsiasi estensione e complessità e comprendere ulteriori elementi noti per l'applicazioni specifica.



RIVENDICAZIONI

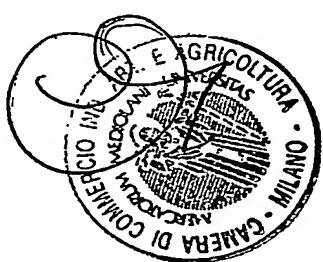
1. Rete ottica WDM ad anello comprendente un anello ottico con amplificatori ottici (12,16) fra tratte dell'anello (11) e con ricircolazione ASE nell'anello, caratterizzata dal fatto che in un punto dell'anello un raggio laser è iniettato e lasciato circolare nell'anello, il raggio laser essendo centrato attorno ad una lunghezza d'onda λ_{LINK} dove è desiderato venga generato un picco "lasing".
2. Rete ottica secondo rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che il punto di iniezione del raggio laser è contenuto in un nodo (16) di amplificazione della rete.
3. Rete ottica secondo rivendicazione 2, caratterizzata dal fatto che il punto di iniezione è a monte di un amplificatore EDFA (13) contenuto nel detto nodo di amplificazione.
4. Rete ottica secondo rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che lunghezza d'onda λ_{LINK} è sotto la banda dei canali trasmessi nella rete.
5. Rete ottica secondo rivendicazione 4, caratterizzata dal fatto che lunghezza d'onda λ_{LINK} è nell'intorno di 1530nm o di 1538nm.
6. Rete ottica secondo rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che lunghezza d'onda λ_{LINK} è sopra la banda dei canali di segnale trasmessi nella rete.
7. Rete ottica secondo rivendicazione 6, caratterizzata dal fatto che lunghezza d'onda λ_{LINK} è nell'intorno di 1564 nm.
8. Rete ottica secondo rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che lungo l'anello è presente almeno un filtro ottico passa alto (20) con lunghezza d'onda di taglio superiore alla lunghezza d'onda di un picco ASE della rete, ma inferiore alla lunghezza d'onda λ_{LINK} e alla banda dei canali di segnale nella rete.

9. Rete ottica secondo rivendicazione 8, caratterizzata dal fatto che il filtro ottico (20) ha lunghezza d'onda di taglio per eliminare l'accumulo di ASE sotto 1535nm e la lunghezza d'onda λ_{LINK} è ad una lunghezza d'onda scelta in un intervallo compreso fra la lunghezza d'onda di taglio del filtro e la banda dei segnali WDM.
10. Rete ottica secondo rivendicazione 8, caratterizzata dal fatto che il filtro ottico (20) ha lunghezza d'onda di taglio per eliminare l'accumulo di ASE sotto 1538nm e la lunghezza d'onda λ_{LINK} è almeno leggermente più alta della banda dei segnali WDM.
11. Rete ottica secondo rivendicazione 8, caratterizzata dal fatto che il filtro ottico passa-alto (20) è presente in una pluralità di nodi amplificatori della rete.
12. Rete ottica secondo rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che il raggio laser è prodotto da un sistema di generazione laser ridondante (17, 18, 19).
13. Rete ottica secondo rivendicazione 13, caratterizzata dal fatto che il sistema laser ridondante comprende due laser (17, 18) selettivamente e alternativamente attivabili.
14. Rete ottica secondo rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che una pluralità di nodi di amplificazione distribuiti lungo l'anello comprendono ciascuno una sorgente laser (24) per l'immissione nell'anello di un raggio laser con lunghezza d'onda di emissione attorno a λ_{LINK} , e mezzi (21, 22, 23) di controllo della sorgente laser i quali rilevano la potenza della luce lasing in ingresso al nodo e attivano la sorgente laser (24) al decadimento di tale potenza sotto una soglia prestabilita.
15. Rete ottica secondo rivendicazione 15, caratterizzata dal fatto che la sorgente

laser ha potenza di uscita di almeno circa 10dBm.

16. Rete ottica secondo rivendicazione 15, caratterizzata dal fatto che i mezzi di controllo comprendono uno splitter (21) che preleva una frazione della potenza ottica in ingresso e la invia ad un filtro passa-banda (22) centrato sull'intorno di λ_{LINK} e con una banda a -3dB nell'ordine di alcuni nm, in uscita dal filtro (22) essendo presente un rivelatore a soglia (23) che riceve il segnale filtrato e attiva la sorgente laser (24) al decadimento del segnale sotto la detta soglia prestabilita, uno secondo splitter (27) convogliando il raggio laser prodotto dalla sorgente (24) assieme a segnali in ingresso ai mezzi di amplificazione (28) del nodo.
17. Rete ottica secondo rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che i valori di potenza del raggio laser sono scelti fra -5 dBm e +10 dBm.
18. Metodo per il controllo del collegamento in una rete ottica WDM ad anello comprendente un anello ottico con amplificatori ottici fra tratte dell'anello e con ricircolazione ASE nell'anello, secondo il quale un raggio laser centrato attorno ad una lunghezza d'onda λ_{LINK} dove è desiderato venga generato un picco "lasing" è iniettato in un punto dell'anello e fatto circolare nella rete.
19. Metodo secondo rivendicazione 18, secondo il quale lungo la rete è eseguito un filtraggio passa alto con lunghezza d'onda di taglio superiore alla lunghezza d'onda di un picco ASE nella rete, ma inferiore alla detta lunghezza d'onda λ_{LINK} e alla banda dei canali di segnale nella rete.
20. Metodo secondo rivendicazione 18, secondo il quale i valori di potenza del raggio laser sono scelti fra -5 dBm e +10 dBm.

3 mandatari

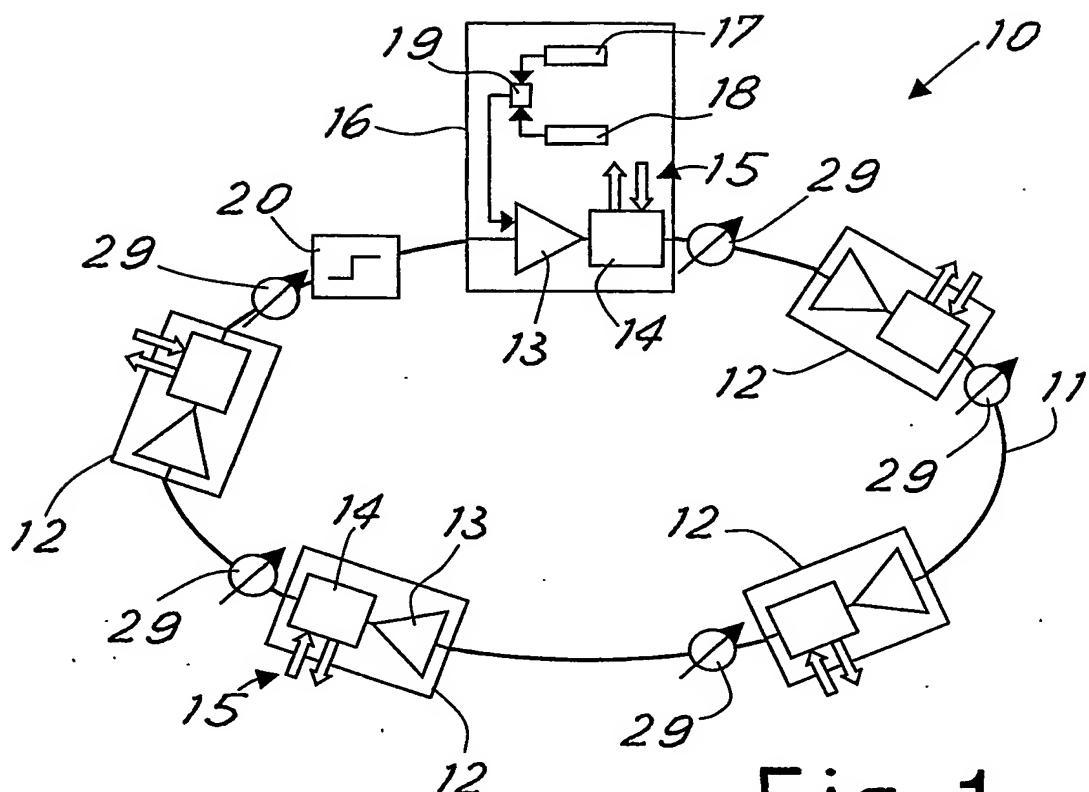


Fig. 1

MI 2003A001742

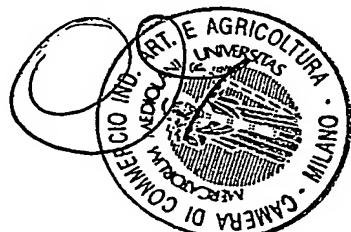
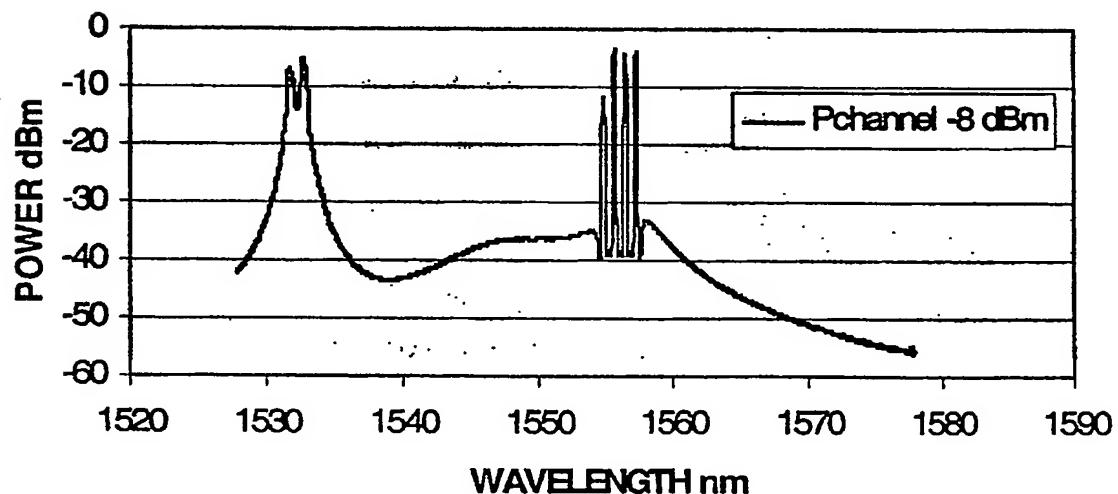


Fig. 2

mandatori
i
di

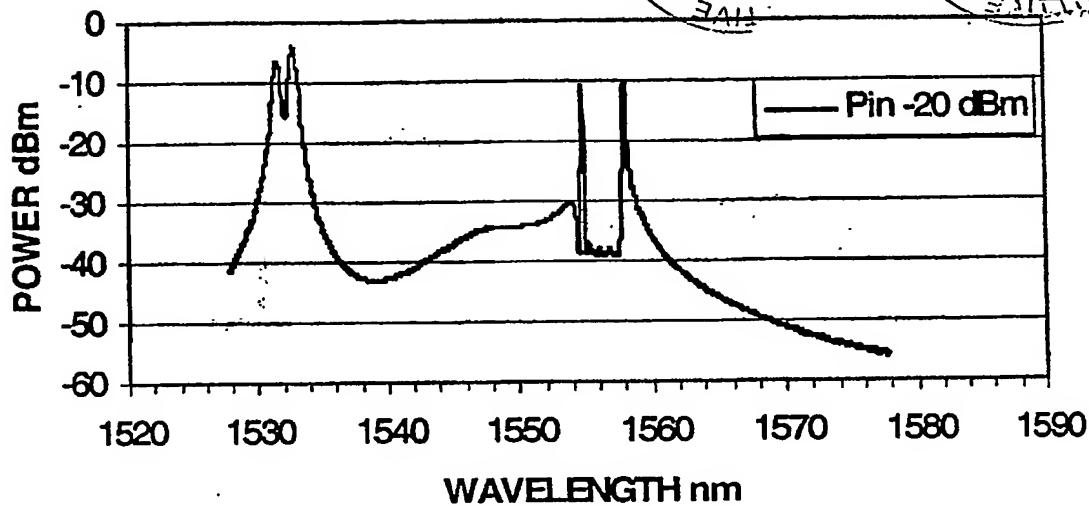
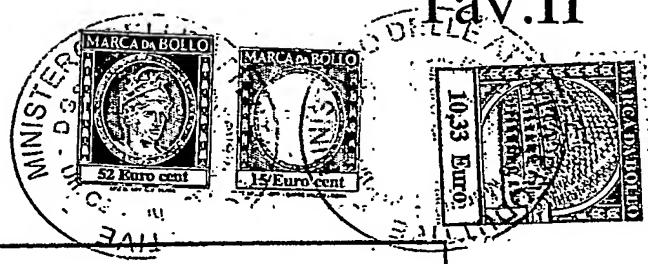


Fig. 3

MI 2003 A 001742

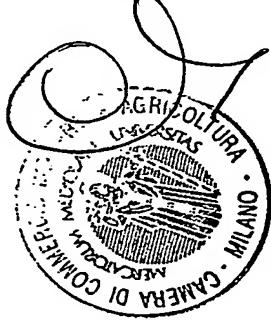
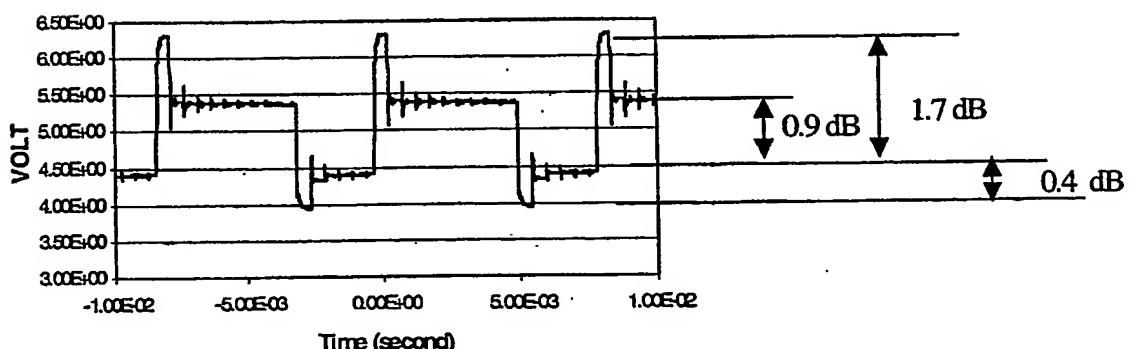


Fig. 4

U mandatari

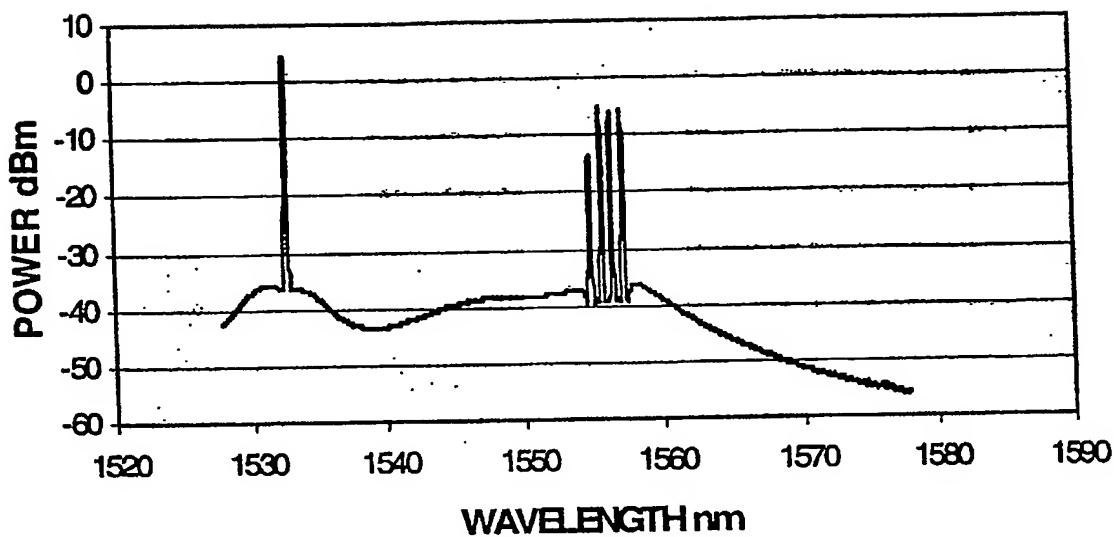



Fig. 5

MI 2003 A 001742

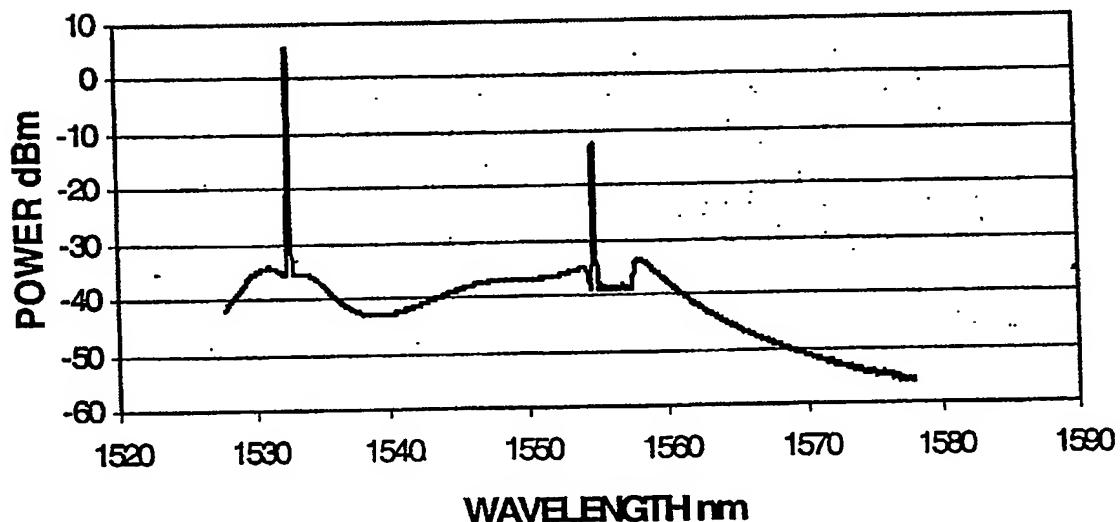


Fig. 6



mandatori
[Signature]

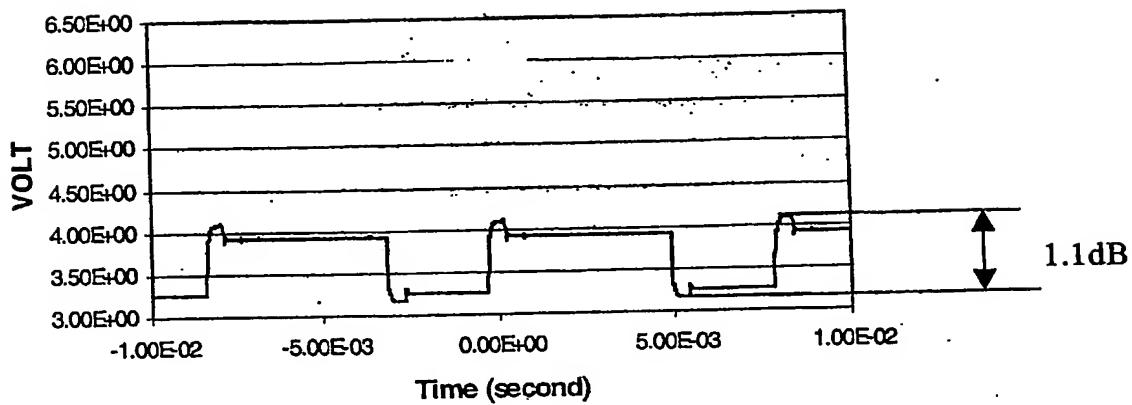


Fig. 7

MI 2003 A 001742

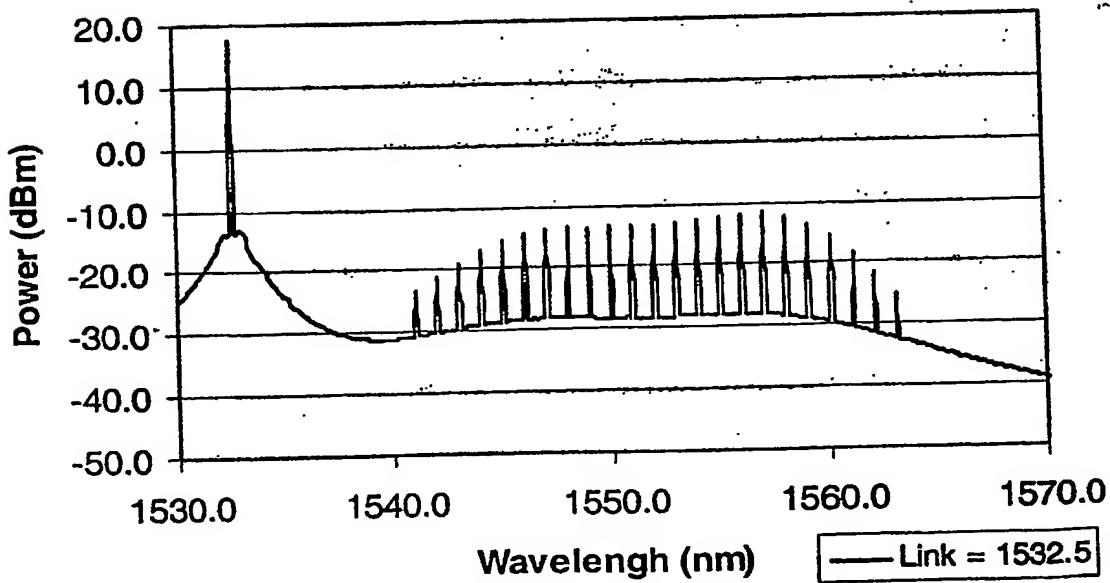
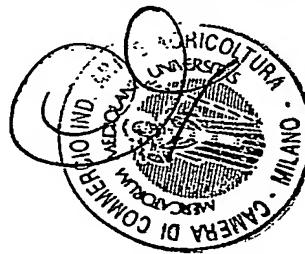


Fig. 8



12052004 11
00

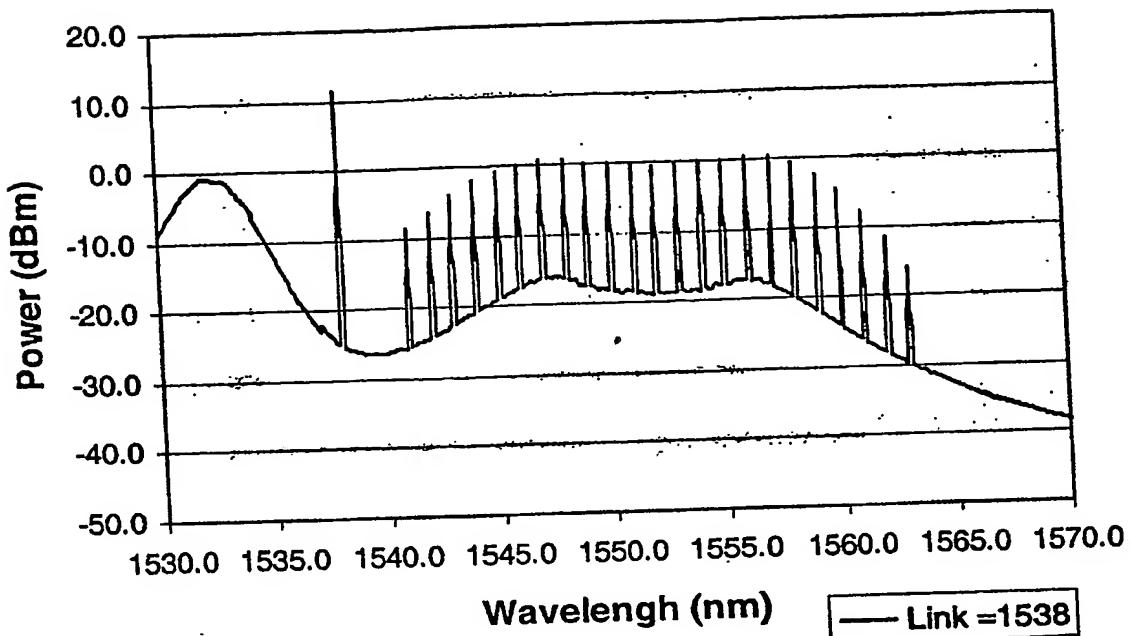


Fig. 9

MI 2003 A 001742

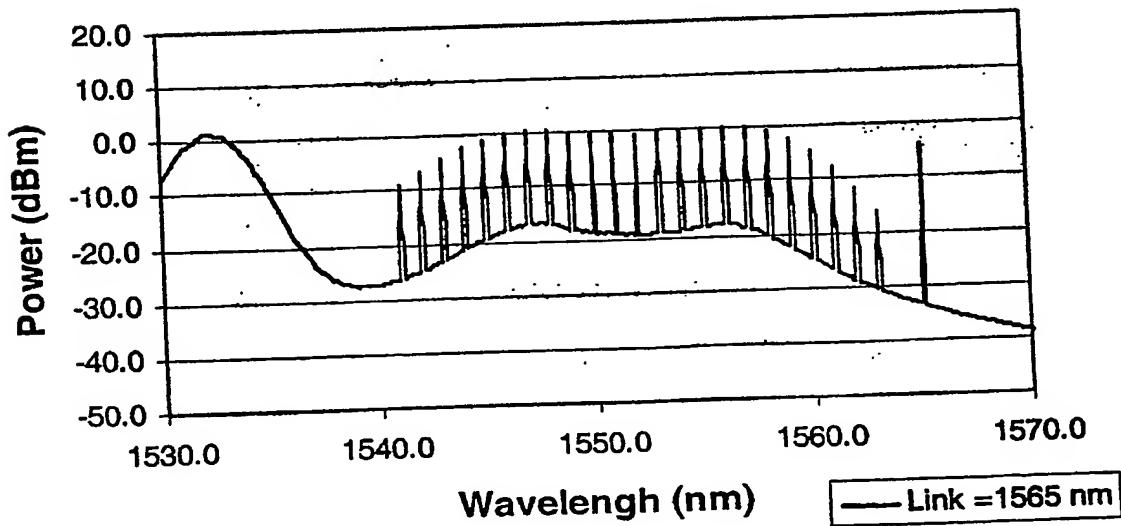
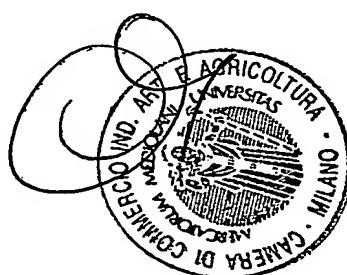


Fig. 10



I mandatari
[Signature]

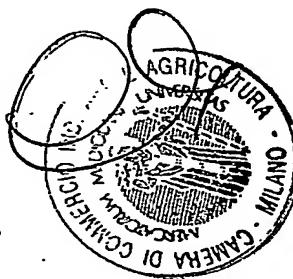
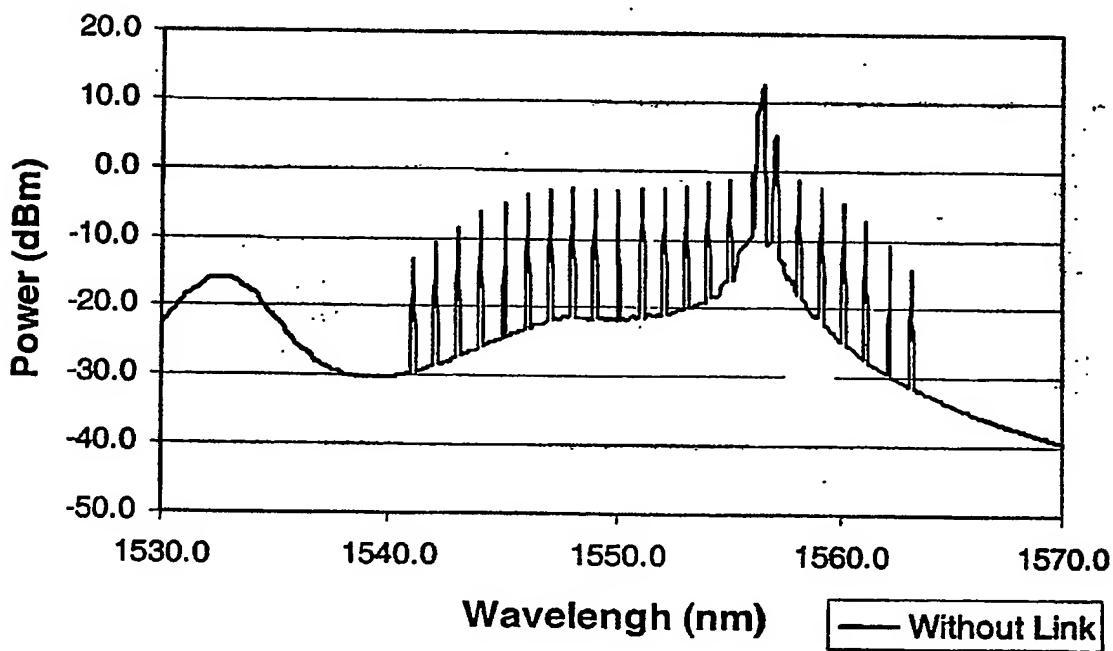
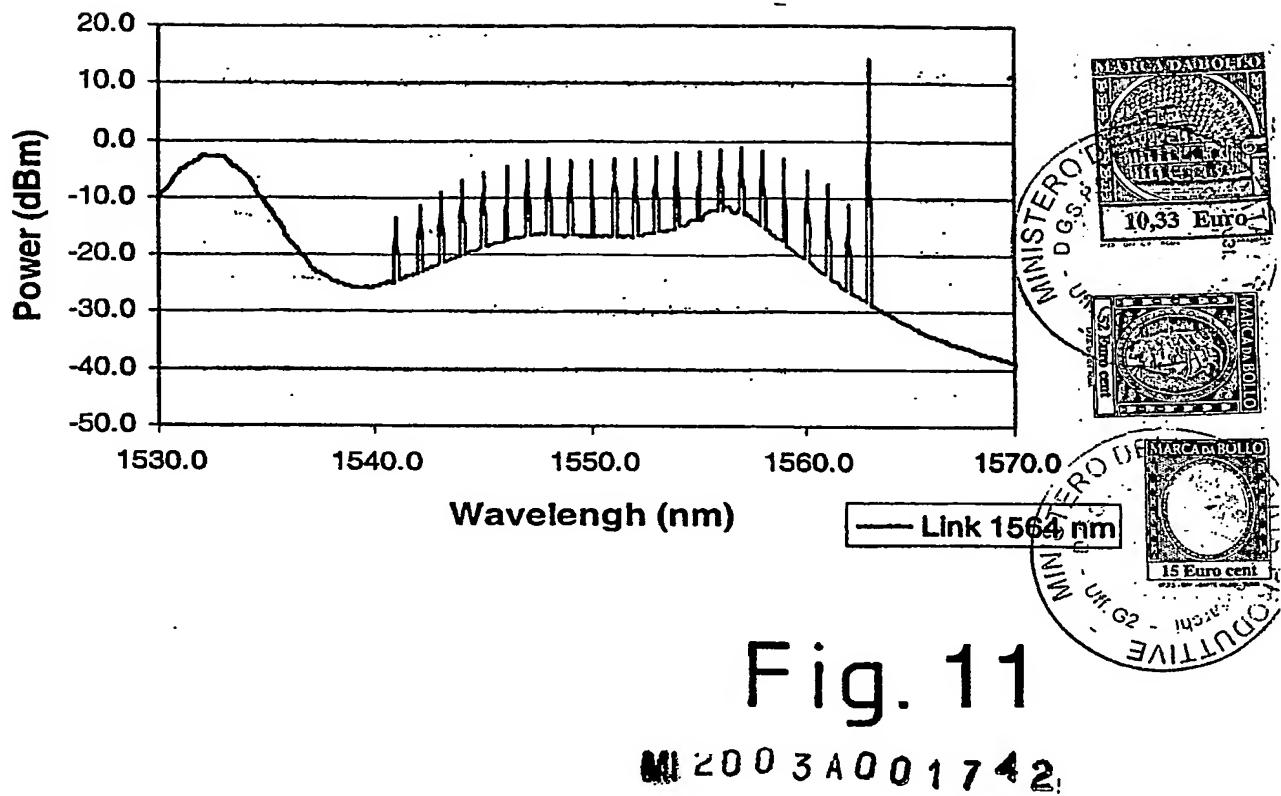


Fig. 12

8 monzafari

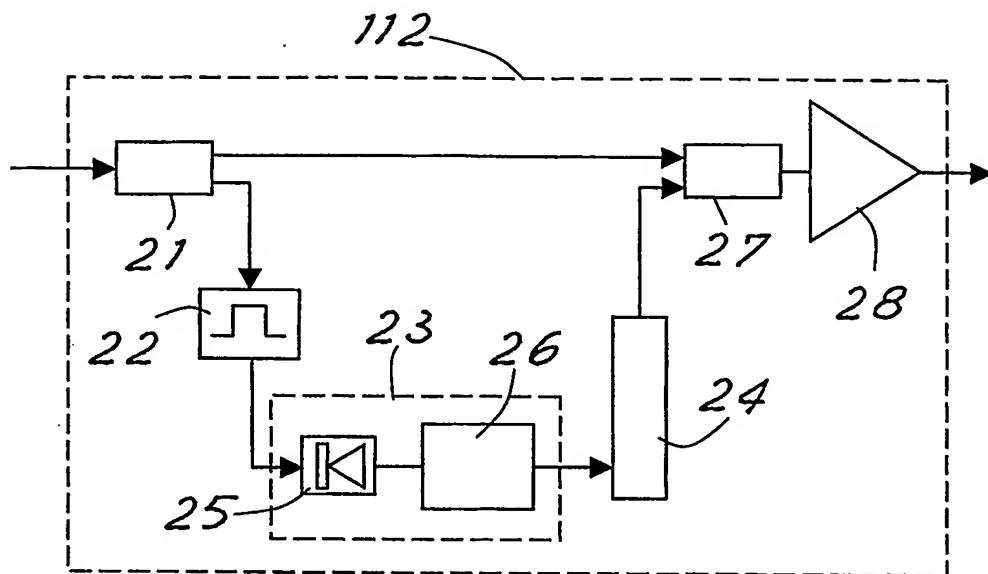


Fig. 13

MI 2003 A 001742

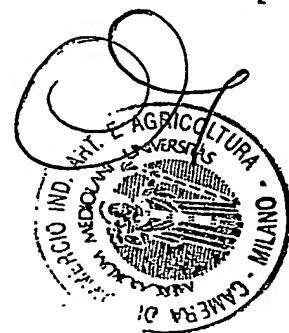
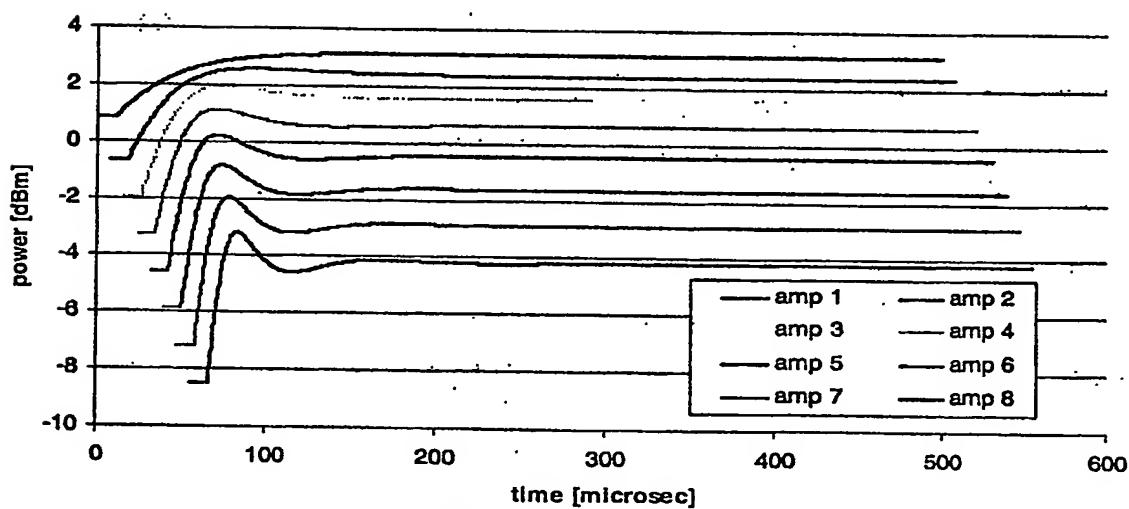


Fig. 14

mandorari

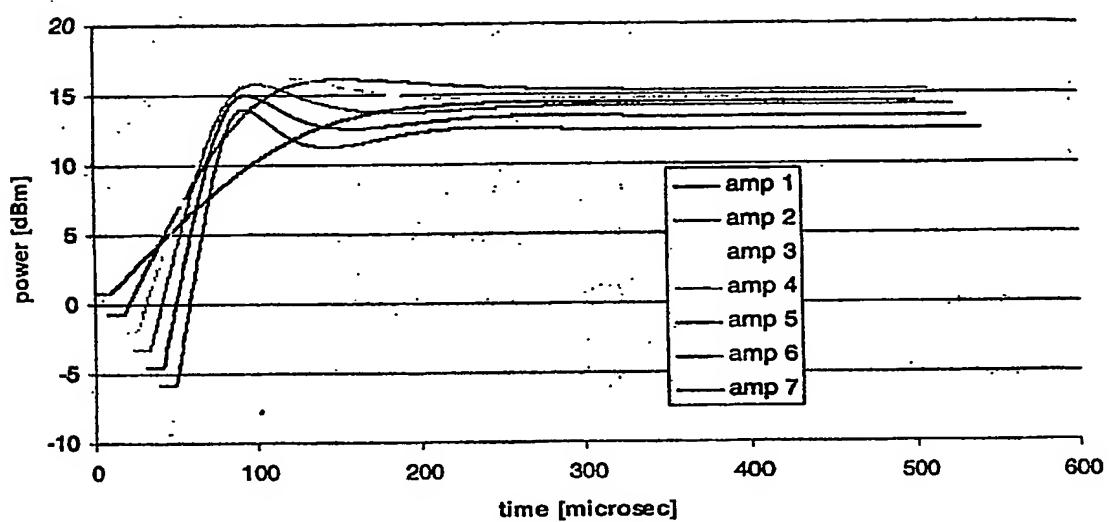


Fig. 15

2003A001742

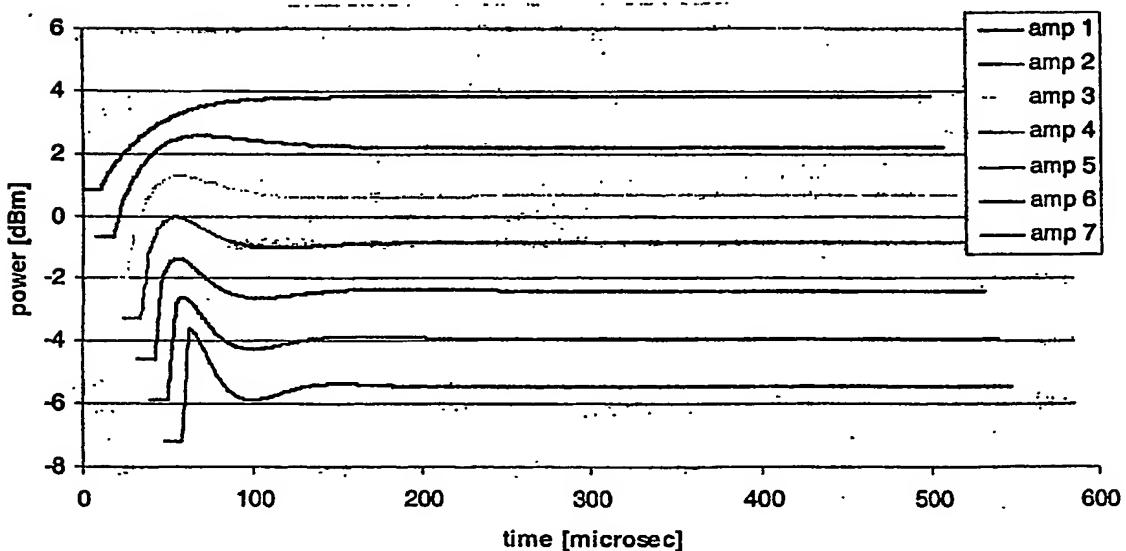
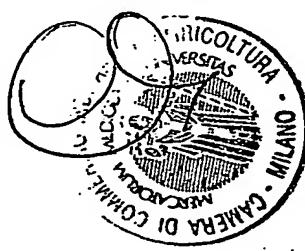


Fig. 16



1 mandatemi

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.